

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 09089568
PUBLICATION DATE : 04-04-97

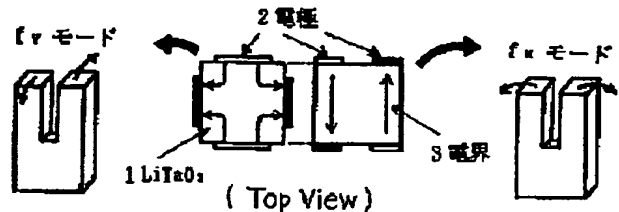
APPLICATION DATE : 20-09-95
APPLICATION NUMBER : 07241074

APPLICANT : FUJITSU LTD;

INVENTOR : WAKATSUKI NOBORU;

INT.CL. : G01C 19/56 G01P 9/04

TITLE : TUNING FORK TYPE GYRO
ADJUSTING METHOD



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a vibrating gyro high in sensitivity and excellent in a temperature characteristic by eliminating electromechanical leak, generated by the unbalance of both detecting and driving electrodes, by electrode trimming.

SOLUTION: A tuning fork type vibrator has different vibration modes: an fx mode and an fy mode, and the respective fx and fy modes are vibrated in an X-direction and a Y-direction. Electromechanical leak generated near the resonance frequency of the fx mode is generated mainly due to the unbalance of electrodes caused by the combination of excess force coefficient components between both driving and detecting electrodes. In order to eliminate this leak, the fy mode side electrode is provided with a trimming electrode so as to adjust vertical balance to the vibrating direction of the fx mode, that is, the balance of fx mode vibration is adjusted by fy mode side electrode trimming to eliminate the electromechanical leak of fx mode resonance. Leak output is thereby reduced to obtain a vibrating gyro with high output, high sensitivity and an excellent temperature characteristic.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-89568

(43) 公開日 平成9年(1997)4月4日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 1 C 19/56

G 0 1 P 9/04

識別記号

庁内整理番号

9402-2F

F I

G 0 1 C 19/56

G 0 1 P 9/04

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平7-241074

(22) 出願日 平成7年(1995)9月20日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72) 発明者 山田 澄夫

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(72) 発明者 小野 正明

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 井桁 貞一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 音叉形ジャイロの調整方法

(57) 【要約】

【課題】 音叉形ジャイロを調整する際に、もれ出力を削減するために、静電的なもれ、電気機械的なもれを分離して除去することを目的とする。

【解決手段】 第1及び第2のアームを含む音叉を有する音叉形ジャイロにおいて、該アームに形成する電極のアンバランスによって発生する電気機械的なもれを駆動電極、検出電極のトリミングにより低減するようにする。

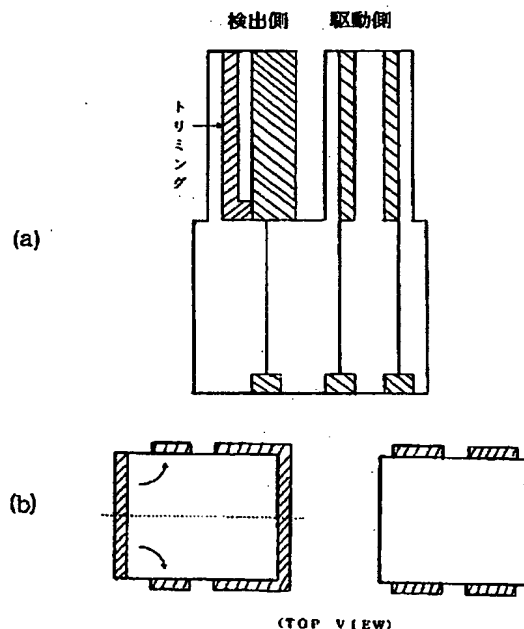


図1 モード側の電気機械的なもれのトリミング原理

【特許請求の範囲】

【請求項1】第1及び第2のアームを含む音叉を有する圧電体を用いた音叉形ジャイロであって、

該第1及び第2のアームに形成する検出電極及び駆動電極のアンバランスにより発生する電気機械的もれを該電極のトリミングにより低減することを特徴とする音叉形ジャイロの調整方法。

【請求項2】該音叉の厚さ方向に平行なX方向に振動する f_x モードと、該音叉の厚さ方向に垂直なY方向に振動する f_y モードの共振周波数を離し、該 f_x モードの共振周波数で駆動し、出力電圧の応答を観測して、出力が0になるように該検出電極を調整することを特徴とする請求項1記載の音叉形ジャイロの調整方法。

【請求項3】該音叉の厚さ方向に平行なX方向に振動する f_x モードと、該音叉の厚さ方向に垂直なY方向に振動する f_y モードの共振周波数を離し、該 f_y モードの共振周波数で駆動し、出力電圧の応答を観測して、出力が0になるように該駆動電極を調整することを特徴とする請求項1記載の音叉形ジャイロの調整方法。

【請求項4】該音叉の厚さ方向に垂直なY方向に振動する f_y モードの電極アンバランスもれを除去するため、該駆動電極または該検出電極の形成された該アームの側面にダミー電極を形成し、該電極と接続することを特徴とする請求項1記載の音叉形ジャイロの調整方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、音叉形振動ジャイロに関し、より詳細には、圧電体を用いた音叉形振動ジャイロ並びに音叉形振動ジャイロの調整方法に関する。ジャイロスコープは飛行機や大型船舶、宇宙衛星などの位置の確認用として使用されてきた。

【0002】圧電ジャイロは、振動している物体に回転角速度が与えられると、その振動方向と直角の方向に、コリオリ力が発生するという力学的現象を利用したセンサである。圧電ジャイロは1950年頃より、実用化が試みられてきた。スベリー社の音叉形ジャイロ、ワトソン社の音叉形ジャイロ、そして、1960年代にGE社より、金属四角柱音片ジャイロが開発された。1990年代に入ると、今までの圧電ジャイロを小型高感度化したものや様々な形状の振動子が研究、開発されるようになってきた。

【0003】感度や分解能はリングレートジャイロや光ファイバジャイロに比べて劣るものの、小型、中精度の性能を持ち、安価な圧電ジャイロは、自動車のナビゲーション用の回転角速度センサやビデオテープレコーダのハンディカメラ、スチルカメラの手振れ検出などの民生用として市場を広げつつある。

【0004】

【従来の技術】圧電振動ジャイロにおいて、感度を良くするには、無回転時の不用な出力（以降もれ出力とい

う）を小さくすることが必要である。もれ出力が大きいと発生したコリオリ出力と合成され、もれ出力の温度特性がコリオリ出力を見かけ上変化させてしまい正確なコリオリ出力が検出できない。そのため、検出回路が複雑になり、ドリフト要因となる。また、もれ出力を温度特性を含めた定量化が行えない為に、もれ出力を容認した検出方法では正確さが欠けるなどの欠点があった。

【0005】圧電振動ジャイロでは、振動子の加工精度、圧電セラミックの接着位置などのバラツキによって、もれ電圧が発生する。弾性率の温度変化がほとんどない特性を持つ鉄-ニッケル-クロム合金であるエリンバ材に圧電セラミックを張り合わせる従来の圧電振動ジャイロの構造では、振動子の加工精度、圧電セラミックの接着位置からのずれに起因する電気機械的もれを取り除く方法、例えばレーザ等による圧電セラミックのトリミングまたは接着による調整で電気機械的もれを極小にするのは、非常に高い加工精度が要求されるため、コスト高となり、量産には不適である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上記のように、もれ出力を削減する方法が困難であるため、検出系のもれ出力の発生を左右のもれ電圧のレベルと位相を合わせて、差動による波形処理を行うことにより、見かけ上のもれ出力をゼロにする方法（村田製作所：NIKKEI ELECTRONICS 1990.11.26(no.514)）、コーナー切削により、もれ出力を減少させ、その後、補償用電子回路（差動検出）により、検出端子の振幅と位相を調整する事により、もれ出力を減少させる方法。（中村 尚、近野 正：電子通信学会総合全国大会 1986.3 P.1-78）等が提案されている。しかし、これらの方法で削減したもれは、静電的もれ、電気機械的もれおよび機械的もれを、一まとめにして回路により、減少させているため、一定温度では安定していても、温度が変化すると、それぞれのもれの位相特性や温度係数が異なるので、もれが急激に変化し、振動ジャイロとしたときの温度特性は悪くなる。

【0007】

【課題を解決するための手段】圧電振動ジャイロに発生するもれ電圧は、図11に示すように①静電的もれ、② f_x モード側電極アンバランスもれ、③ f_y モード側電極アンバランスもれ、④機械的もれの4種類のもれがある。①の静電的もれは、入力側電極と出力側電極間に発生する静電結合である。図4に示すように、電極パターンを変更し、コの字に形成したアース電極により、振動子としての変成比は劣化するものの、電極間の静電的結合が小さくなり、静電的もれを下げることができる。

【0008】②の f_x モード共振周波数付近に発生する電気機械的もれは、駆動、検出間の余剰力係数成分による結合で、主に電極のアンバランスにより発生する。図11に示すように f_x モード共振周波数付近に発生する電気機械的もれは、 f_x モードを振動したときに、直接検

出電極に流れる結合である。駆動と検出の電極パターンを図4に示すように、静電的もれを考慮した構成により、電気機械的もれの伝達関数を測定すると、図6に示すように f_x モードの共振周波数、 f_y モードの共振周波数付近にそれぞれ電気機械的もれが現れる。この f_x モード側の電気機械的もれを除去するため、図7(a)に示すように、 f_y モード側電極にトリミング電極を設ける。そして、図7(b)に示すように、 f_x モード振動(図1参照)方向、点線に対し上下方向のバランスを調整する。つまり、 f_x モード振動のバランスを調整するのは、 f_y モード側電極トリミングでおこなう。図12は、 f_x モード共振の電気機械的もれを f_y モード側電極のトリミングしたときのもれ変化と位相変化を示す。図でわかるように、裏面をトリミングすることによって、もれを静電的もれレベルまで落とすことができた。つまり、電極の極性の強い側の面を削ることにより、もれを静電的もれレベルまで下げることができる。③の f_y モード共振周波数付近に発生する電気機械的もれは、図11に示すように f_y モード共振周波数付近に発生する電気機械的もれは、駆動電極から直接 f_y モード振動を発生させるもれである。この電気機械的もれの伝達関数を測定すると、図6に示すように、 f_y モード共振周波数付近に発生する。この f_y モード共振周波数付近に発生する電気機械的もれを取り除くため、図8(a)に示すように、 f_x モード側電極の側面にダミー電極を設け、駆動側外側電極の表裏どちらかに接続させる。図13(b)に示すように、点線に対して左右での電極の効率が変わりもれ出力を変化させることができる。この手法により、 f_y モードの電極アンバランスもれを削減させることができる。図14に f_y モードの電極アンバランスもれトリミングともれ位相の関係を示す。この図では、駆動側裏側の電極に接続したときに、もれ出力を下げる事が出来た。

【0009】図15に f_x モードと f_y モードの共振周波数が離れているときのインピーダンス特性を示す。この振動子の入力側共振周波数付近に検出側の共振周波数を近づけると、図16に示すように、入力側のインピーダンス特性が悪くなり、検出側のインピーダンス特性の反共振点付近にくぼみが発生する。これは、入力側の f_x モードの共振周波数と検出側の f_y モードの共振周波数を近づけることにより、 f_x モードの振動と f_y モードの振動が結合するようになるためである。この結合を④の機械的結合といい、振動子の加工精度に起因して発生する。検出側の反共振周波数を駆動側の共振周波数に合わせることで、検出感度は検出側の機械的Qに比例して大きくなる。しかし、振動子の加工精度が悪いと、直交するはずの f_x モードと f_y モードに機械的結合が発生し、もれ電圧が増大し、出力が低下し、出力感度が悪くなる。したがって、振動ジャイロにおいて、所望の出力、感度を実現するには機械的結合を取り除かなければ

ならない。

【0010】機械的結合が発生した場合、図5に示すように、音叉アームコーナー部に切溝を入れることにより、スティフネスを変化させ、振動バランスを変え、取り除く。以上4つのもれを分離し、取り去る方法について示した。これらのもれトリミングにより、総合的にもれを削減し、温度特性に優れた振動ジャイロが実現できる。

【0011】

【発明の実施の形態】以下に実施例を挙げ、本発明を詳細に説明する。図1は、本発明による圧電振動ジャイロの音叉形振動子の構成例を示した図である。音叉形振動子はアームが直方体の音叉で、側面に駆動と検出用の電極が形成されている。音叉形振動子には、異なる2種類の振動モード(f_x モードと f_y モード)が存在する。 f_x モードはX方向に振動し、 f_y モードはアームがよじれるようにY方向に動く。それらの振動の方向は直交している。音叉には分離した2本のアームと基底部よりなる。音叉形振動子は130°回転Y板LiTaO₃単結晶を用いた。

【0012】本実施例におけるLiTaO₃音叉は、図2に示すように、直方体のアーム(アーム長が7mm、アーム幅が1mm、アーム厚さが1mm、ギャップ幅が0.3mm)と、そのそれぞれの側面に形成した駆動および検出のニクロム/金の薄膜電極を有する。圧電体は、ダイシングソーにより音叉形に加工した。3次元的な電極は、斜め露光を用い、ホットエッチング技術で形成した。

【0013】図3に音叉形ジャイロの実装状態の図を示す。圧電ジャイロとしての実装は、音叉としての振動特性を劣化させず、センサとして、回路基板と物理的に固定され、電気的に接続する必要がある。音叉形振動子4の底部を引出し電極配線が形成された矩形の支持基板5に接着する。支持基板は緩衝材9を介して、回路基板8へピン6で固定する。支持基板と回路基板は、電気的には、細い銅線7で接続する。

【0014】電極構成は静電結合を減少させるため、図4に示すように、検出電極を構成するアームの4面に電極を形成し、3面の電極はお互いに導通させアース電極とし、残る1面の電極は検出用として、他の3面の電極と分離させる。さらに、この検出用電極の配置は、駆動電極より最も遠い面に形成し、入力側電極と検出側電極間に発生する静電結合を小さくする構成とする。

【0015】 f_y モードの反共振周波数を調整し、 f_x モードの共振周波数に合わせる。トリミングは伝達関数を測定しながらおこなう。離調($\Delta f = 0$)において、もれ出力は-16.5dBであった。機械的もれ出力のトリミングは、レーザトリミング装置を用いた。トリミングの位置は、図5の機械的もれ出力の切削例に示すようにアームコーナー部で行った。

【0016】機械的もれをある程度取り去った後、支持

基板のmass付加により、 f_x モードと f_y モードの共振周波数を離し、電気機械的もれトリミングを行う。電気機械的もれは図6に示すように f_x モード共振周波数付近に発生するもれと f_y モード共振周波数付近に発生するもれと2種類のもれがある。 f_x モードのもれトリミングは、図7に示すように、検出側に予め形成しておいた調整用電極のトリミングにおいておこなう。このときのもれ形は、伝達関数で表すと、共振点付近で急なゲイン上昇をしてから急なゲイン下降をする過渡現象を示す。

【0017】また、 f_y モードのもれトリミングは、図8に示すように、 f_x モード側電極側面にAgペーストでベタ電極をアーム下部より約5mm形成し、駆動側アーム外側の電極と接続する。この側面電極形成前後でもれ形の過渡現象が、前では、急なゲイン下降から急なゲイン上昇へ変化し、後では、前述のような急なゲイン上昇から急なゲイン下降へと変化する。この電極を削り、もれを最小とする。

【0018】 f_x モードもれと f_y モードもれは、相互に影響を与えるため、本サンプルにおいては、まず f_y モードもれを側面電極上部より削り、-40dBまで下げている。その後、 f_x モードもれをトリミング電極のアーム先端部より切り、-40dBまで下げた。 f_x モードもれ、 f_y モードもれをそれぞれ-40dBまで下げた後、 f_y モードもれを静電的もれレベル(-50dB)まで下げた。そして、 f_x モードもれを静電的もれレベル(-50dB)まで下げた。

【0019】その後、再度離調し、機械的もれ出力の調整をおこない、この素子の感度を図9に示す感度測定装置により測定した。この装置は、サーボモータ14で音叉形振動子4を回転させ、発振器で f_x モードを駆動する。コリオリ力による出力はオシロスコープで測定した。このときの出力をもれ除去前の値とともに図10に示す。もれ除去前後では明らかに感度の差が見られた。駆動電圧200mV_{pp}、1deg/secの回転速度で機械的結合除去前が0.12mV/(deg/sec)に対し、もれ除去後では0.55mV/(deg/sec)と高感度であった。

【0020】

【発明の効果】もれを分離して取り去ることにより、総合的にもれを小さくすることができるため、もれ出力を容認した検出方法では実現出来なかった高出力、高感度、高精度および温度特性に優れた圧電ジャイロが得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】LiTaO₃ 単結晶音叉形振動子の構成を説明するための図である。

【図2】LiTaO₃ 単結晶音叉形振動子の形状例を示すための図である。

【図3】音叉形ジャイロの実装図を示すための図である。

【図4】静電的もれを考慮した駆動と検出の電極パターン例を示すための図である。

【図5】機械的もれの除去例を示すための図である。

【図6】 f_x モードと f_y モードの電気機械的もれを説明するための図である。

【図7】 f_x モード側の電気機械的もれのトリミング原理を説明するための図である。

【図8】 f_y モード側の電気機械的もれのトリミング原理を説明するための図である。

【図9】音叉形ジャイロの感度測定装置を示すための図である。

【図10】音叉形ジャイロの角速度センサとしての感度を示すための図である。

【図11】各種もれの系統について説明するための図である。

【図12】 f_x モード側の電極アンバランスもれトリミングともれ、位相の関係を示すための図である。

【図13】 f_y モード側の電極アンバランスもれトリミングともれ、位相の関係を示すための図である。

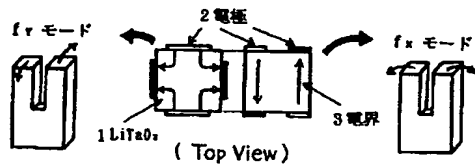
【図14】 f_x モードと f_y モードのインピーダンス特性(Δf 大)を示すための図である。

【図15】 f_x モードと f_y モードのインピーダンス特性($\Delta f=0$)を示すための図である。

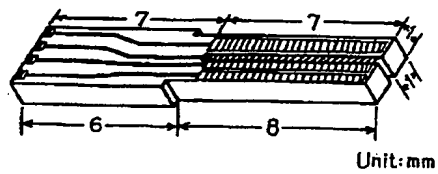
【符号の説明】

1・・・LiTaO ₃	2・・・電極
3・・・電界	4・・・音叉形振動子
5・・・支持基板	6・・・ピン
7・・・銅線	8・・・回路基板
9・・・緩衝材	10・・・検出側アーム
11・・・駆動側アーム	12・・・ジャイロセンサ
13・・・オシロスコープ	14・・・サーボモータ
15・・・コントローラ	16・・・発振器

【図1】

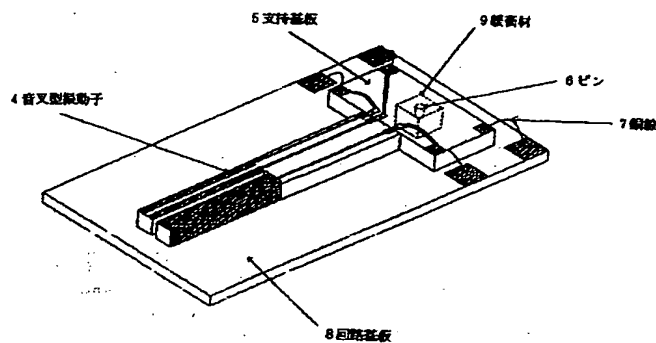
LiTaO₃ 単結晶音叉形振動子の構成

【図2】



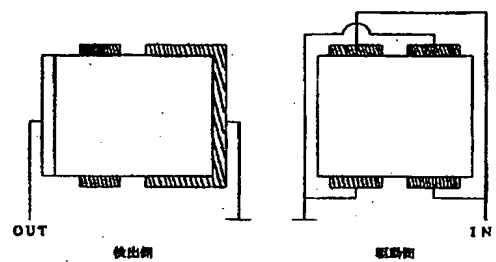
音叉形素子

【図3】



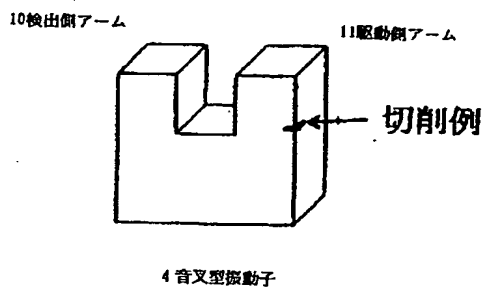
音叉型ジャイロの実装図

【図4】



静電的もれを考慮した駆動と検出の電極パターン例

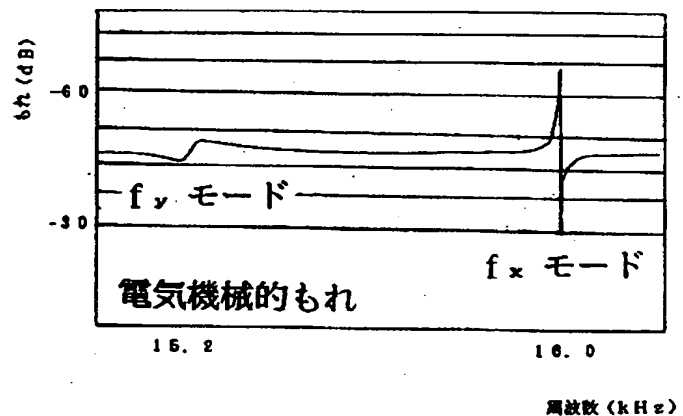
【図5】



4 音叉型振動子

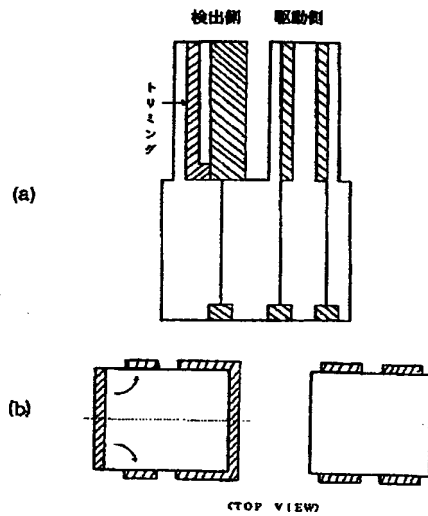
機械的もれ出力の切削例

【図6】

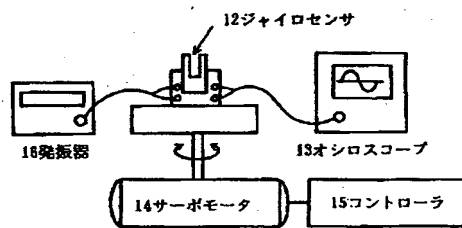


fx モードとfy モードの電気機械的もれ

【図7】

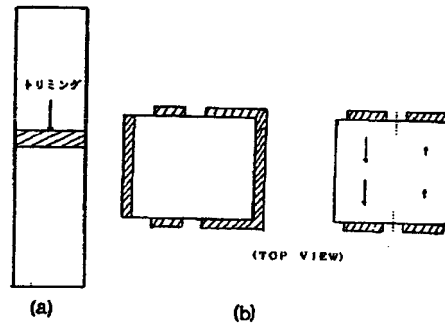
f_y モード側の電気機械的もれのトリミング原理

【図9】

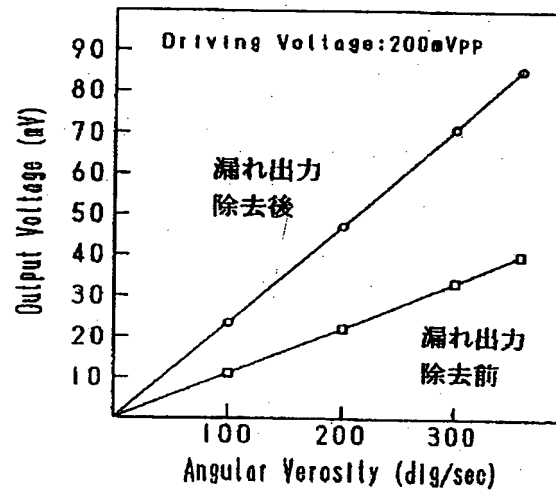


音叉型ジャイロの感度測定装置

【図8】

f_x モード側の電気機械的もれのトリミング原理

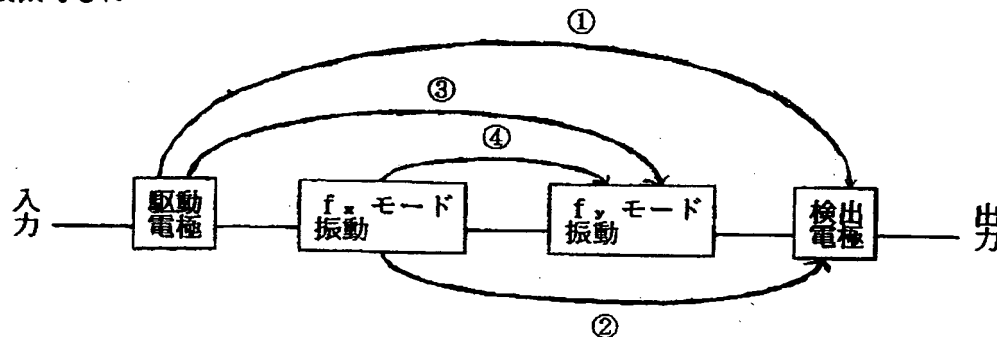
【図10】



音叉型ジャイロの角速度センサとしての感度

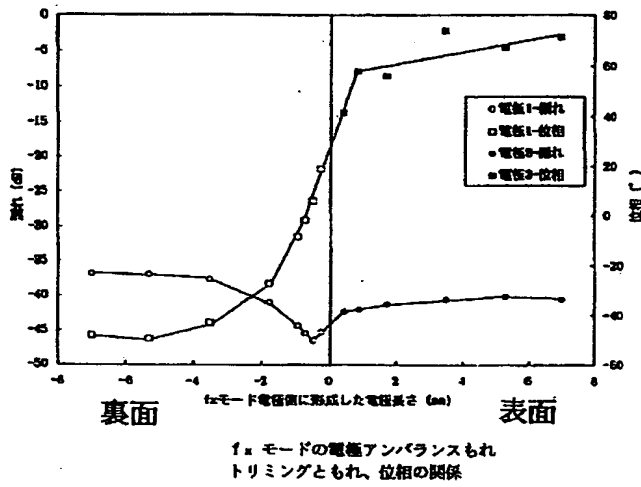
【図11】

- ① 静電的もれ
- ② f_x モード側電極アンバランスもれ
- ③ f_y モード側電極アンバランスもれ
- ④ 機械的もれ

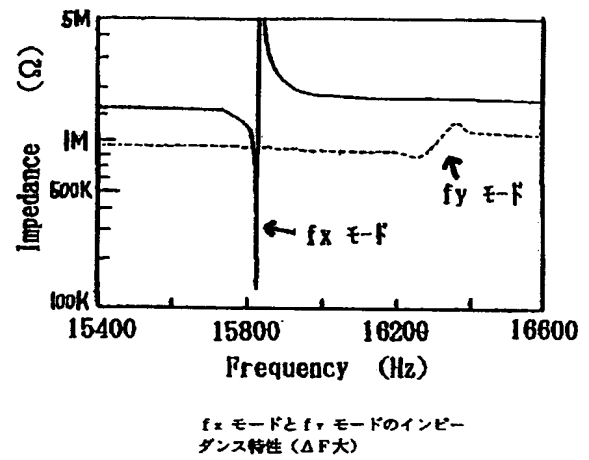


各種もれの系統図

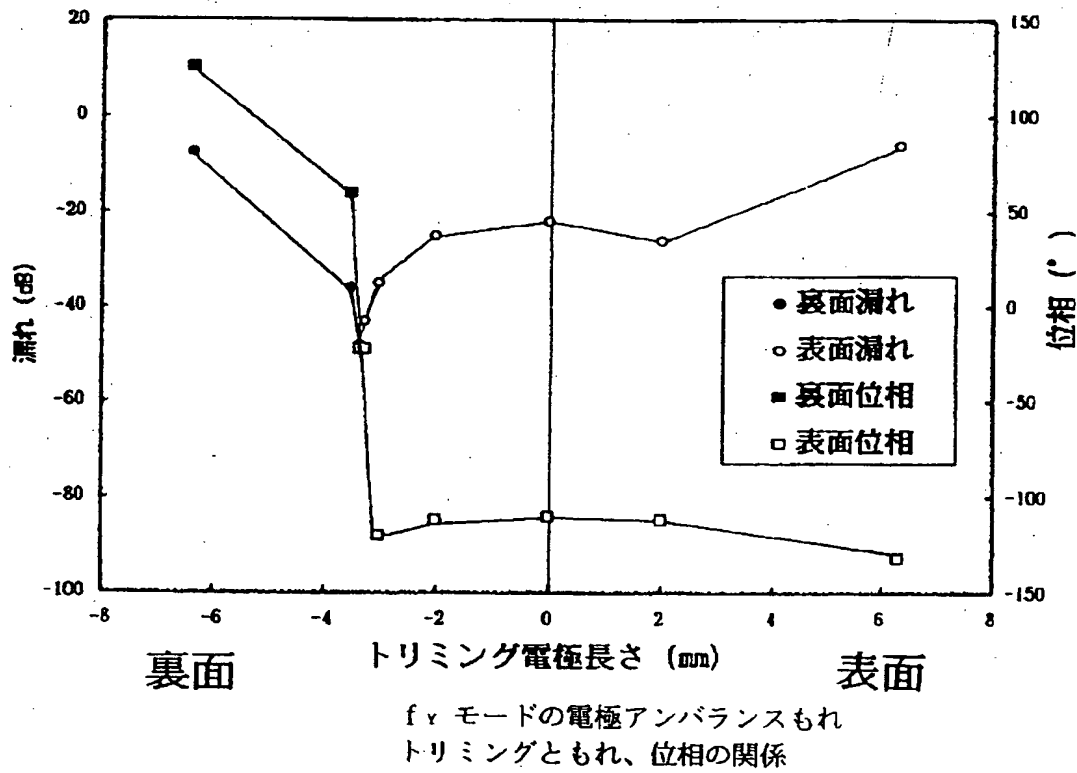
【図12】



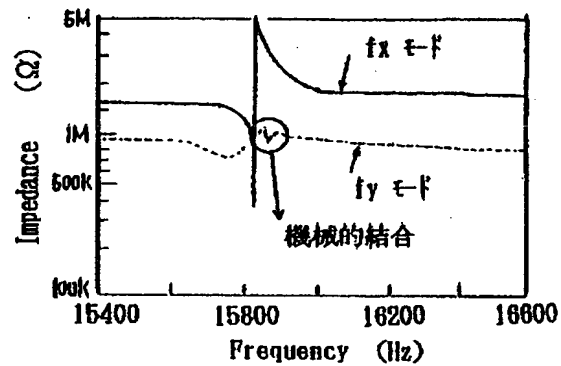
【図14】



【図13】



【図15】



fx モードとfy モードのインピーダンス特性 ($\Delta F = 0$)

フロントページの続き

(72)発明者 高橋 芳孝
神奈川県秦野市室町2番44号 富士通東和
エレクトロン株式会社内
(72)発明者 菊池 一二
神奈川県秦野市室町2番44号 富士通東和
エレクトロン株式会社内

(72)発明者 山内 基
神奈川県秦野市室町2番44号 富士通東和
エレクトロン株式会社内
(72)発明者 若月 昇
宮城県石巻市中里2-12-10